

世界の水資源と農水管理について

石井 優

はじめに

地球は水の惑星とも呼ばれ、豊富な水によって生命を育んできた。人類もまた水によって育まれている。しかし21世紀を迎え、その水に危機が訪れている。人は多様な水利用を行い今日までその文明を発展させてきたが、その根底をなす水が不足するというかつてない危機である。その不足の主な原因は水資源の過剰な利用によるものであるため、今後いかにして過剰な利用を抑制し、水という資源を持続的に利用していくのかを考えなければならない。

水を資源として捉え考察するいわゆる水資源の問題は、グローバルな状況を背景として把握していないとローカルな問題の本質を見誤り、逆にローカルな問題の積み重ねとしてしかグローバルな全体像が描けない特徴を持つ。そのため問題が明確にされにくい。

本稿ではまず水という資源そのものの特徴や状況を明らかにし、人類の利用する水はどのような状況にあるのかを明らかにする。それによって人類は水のほとんどを農業、つまり食料生産のために消費していることと、いかにその水が不足しようとしている、または不足しているかをみていく。

つぎに水不足、特に農業用水の不足（食料生産力の低下）の状況下での問題についてみていく。それは水をいかに効率的に利用するかという問題であり、他の資源と同様にいかにして管理していくのが重要な点となる。より効率的な農水利用という点から灌漑農業についてその仕組みをみるが、そこに地域性が密接に絡んでくることがわかる。そこで大規模灌漑農業であり、大量の食料生産を行うアメリカのカリフォルニアと地域的なコミュニティが主体となり小規模ながら持続的な灌漑農業を行うインドネシアのバリ島の2つの事例をみる。現代の農業の代表的かつ対称的な2つの事例からそれぞれの農水における問題と対策、そして管理方法についてみる。最後に2つの事例から、21世紀において人類が持続的に繁栄するための農水利用、および管理方法について求められることを考察するという構成になっている。

1. 水という資源

1-1 水資源とは

本節では、まず水という資源は地球上にどれほどの量がどのように分布しているのかを明らかにしている。次に人は水資源をどのように利用しているか、またその現状と将来的な予測についてみる。そして水資源を需要と供給の面からどれほど不足しているのか、またそれがどのような事態を引き起こしているかについてみることで、水資源についての全体的な理解を深める節となっている。

水の総量

地球上にはつねに約 13 億 8600 万 km^3 の水が存在している。そのうち 97.5% (約 13 億 5100 万 km^3) が塩水で、海、塩水湖、塩水の多い帯水層 (地下水を豊富に含む層) に含まれる。残り 2.5% (約 3500 万 km^3) が淡水であり、さらにそのうちの 69.5% (約 2440 万 km^3) は氷河、雪、氷、そして永久凍土層に含まれており、人間には利用不可能である。また人間に利用可能な淡水である残り 30.5%のうち 30.1% (約 1050 万 km^3) は地下水で、河川や湖沼などの地表に存在する淡水の利用可能量は全体の 0.4% (約 13.5 万 km^3) である。つまり地球は「水の惑星」と言われるが、人間はそのうちのほんのわずかな水に依存し生活しているのである。¹

一方で水は「循環性」という性質を持つ。地球上の水は太陽の熱によって液体の水から気体の水蒸気に姿を変え、陸地や海洋から蒸発する。大気中ではこの水蒸気が凝結して水滴となり、雲を形成し、雨として地上に降り注ぐ。地上に降る水は河川を潤し、土に水を与え、地下の帯水層を補充する。この蒸発-凝結-降水-浸透の繰り返しが水の循環であり、この性質から地球上の水は、その状態こそ異なっても、総量をほぼ変えていないといえる。つまり循環性によって人間の利用可能な淡水は絶えず補充されてきたといえ、この点から石油などの枯渇性資源とはすこし異なる資源といえる。²

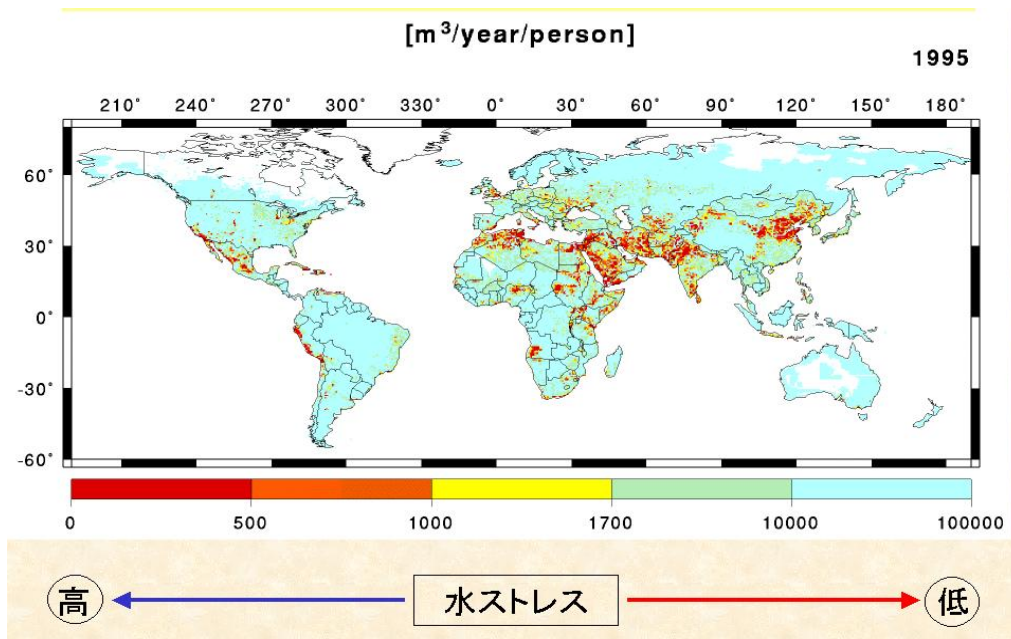
しかし人間に利用可能な淡水のうちのほとんどは地下水である。地下水はほとんどが氷ではない淡水であり、水の循環の中で雨水などが地下に浸透 (これを涵養という) し蓄積された水のことである。毎年降水により多量の水が涵養されるが、その蓄積には数百年から数千年もかかることされ、地表水と比べその循環はかなりの期間を要する。そのため地下水は、涵養による供給量を上回る部分に関しては石油などと同様の枯渇性資源であり、その再生は実質上不可能であるといえる。

このように水はその循環性から無限のものと見られがちであったが、循環する利用可能な水の量は決して多いものではなくその総量は変わらないこと、また利用可能な水のほとんどが地下水であることから、水は人間にとって有限であり、貴重な資源だといえるだろう。とくに近年のように循環する地表水だけでなく、地下水にまで依存しつつある状況においてはその意味はますます重要なものとなってきている。本稿では人間にとって利用可能な淡水 (地表水+地下水) を指して「水資源」と定義し扱っている。

水資源の偏在

水資源はほかの資源と同じく、地球上に平均的に存在するわけではない。平均すると、一人あたり約 7000 km^3 の淡水供給に相当する十分な雨が毎年陸上に降っていて、これはたいいていの水需要を上回るものである³。しかし降水が均等に分布しているわけでもなく、人々も自由に移動し生活できるわけでもないので、すべてを利用できることはまずない。図1は水資源量の分布と、その地域の人口から割り出した年間一人当たりの潜在的利用可能水資源量であるが、特に中東地域においては水資源が逼迫していることがみてとれる。それは乾燥地域であること、取水技術が不十分であることなどが理由に挙げられる。

図1 一人当たり潜在的年使用可能水量 (m³/年・人)



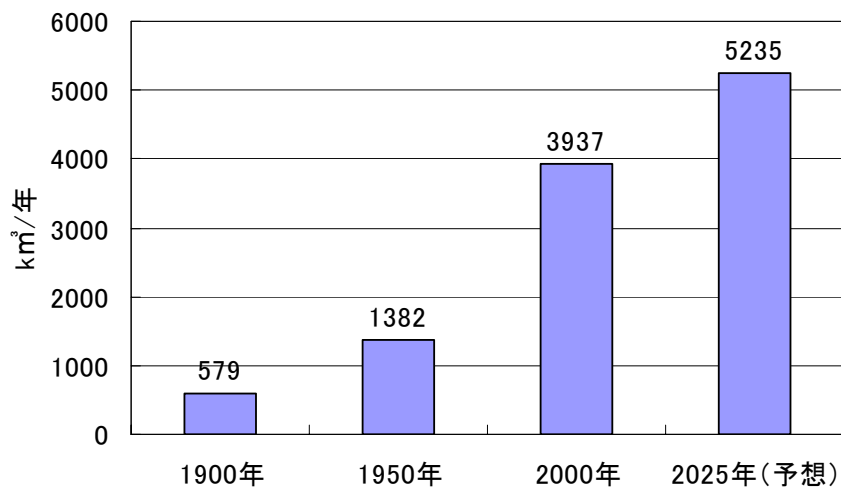
(出所) 東京大学生産技術研究所「世界の水危機、日本の水問題」図-9

<http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/Info/Press200207/#VW>

1-2 水資源の利用と濫用

水資源の利用量は20世紀中に大きく増加し、過去50年で人口は約2倍に増加したが、水資源の取水量は約2.6倍の増加となっている(図2参照)。

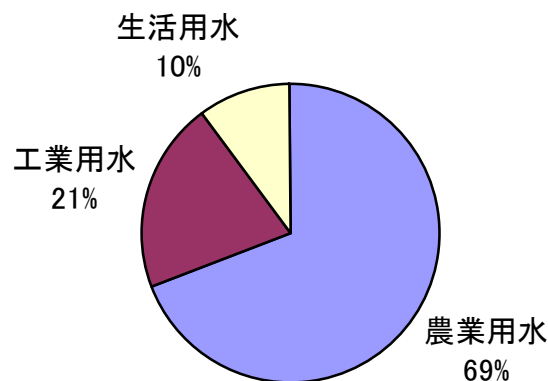
図2 世界の水資源取水量



(出所) ロビン・クラーク「水の世界地図」p.21より作成

いうまでもなく水は人間をはじめ、あらゆる生命にとって必要不可欠な物質である。それは生命維持に関していえることだが、人間にとって水は単にそれだけでなく、幅広い用途で利用できる有用な物質である。その利用方法は大きく分けて生活用水・工業用水・農業用水の3つに分類される。2000年時点の各部門の利用の割合が図3である。⁴

図3 世界の水資源利用方法の内訳



(出所) ロビン・クラーク「水の世界地図」 p.20 より作成

生活用水

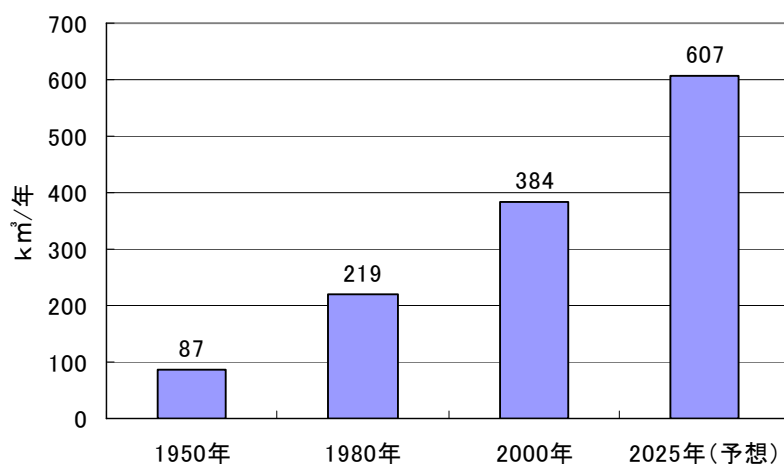
生活用水とは人間が生活していくうえで使用される水資源のことである。そのうち飲料水、風呂、炊事や調理、掃除、洗濯など主に各家庭における使用は家庭用水と呼ばれる。また都市活動に必要な事務用オフィス、ホテル、レストラン、デパート、スーパー、公衆浴場などの給水用、冷暖房用の水、消火用水、公園の維持管理用水、道路散水用水、下水管の清掃用水などの都市活動用水がある。

一般に飲料用と衛生を保つのに必要な量、つまり生命維持に必要な最低限の量で一日 11.5ℓの水が必要で、加えて衛生目的の入浴や調理をするのに一人当たり一日 50ℓの生活用水が必要であるとされる。

上記したように過去 50 年間で水資源の使用量は約 2.6 倍に増加したが、生活用水だけでみると過去 50 年間で約 6.7 倍の増加となっている。これは生活水準が上がることで人々の生活の中でより多くの水を使うようになったためである。先進国では(地域や気候によって差はあるが)一人あたり一日 200ℓ以上の生活用水を使用し、そのうち約 30%がトイレで流すための水である。⁵

生活用水は特に先進国と発展途上国では使用量に大きな差があるが、その理由は水資源の量や偏在によるものだけでなく、水資源へのアクセスの問題が大きい。WHO(世界保健機関)によると、2000年時点でも 10 億人以上の人々が信頼できる水(汚染や病原のない水、清潔な水)を容易に利用できないでいて、23 億人もの人々が(信頼できない水を利用するために)水に関する病気で苦しんでいる。その多くは上下水道や浄水場などがなかったり、清潔な水を購入するお金のない発展途上国の人々である。⁶

図4 世界の年あたり生活用水取水量



(出所) ロビン・クラーク「水の世界地図」p.26より作成

工業用水

工業生産を行うときに使用する水が工業用水であり、2000年時点で全淡水取水量の約20%が使用されている。この半分以上が水力発電や火力発電所で冷却のために使われるだけなので、その水の大半は事実上その姿を変えずに水源に戻っていく（ただし、取水前よりも高温である場合が多い）。他の主要な工業、化学・石油プラント、金属工業、木材・パルプ・製紙工業、食品加工業、機械製造業などは大量に工業用水を使用するため「用水型産業」と呼ばれている。

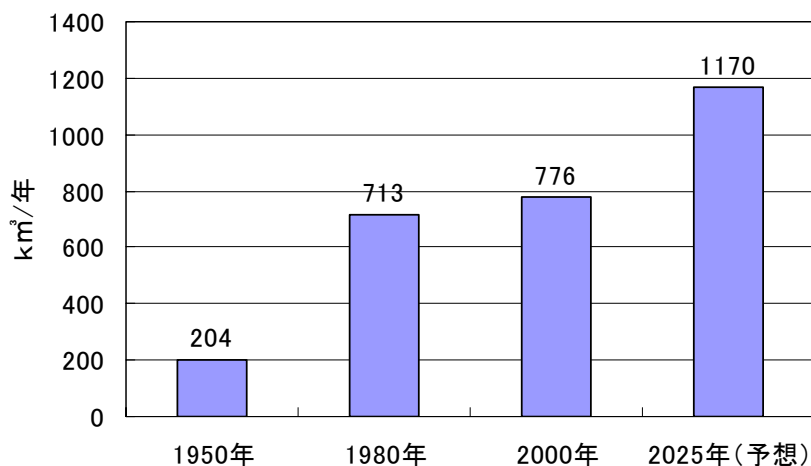
所得の高い国では所得の低い国に比べ、より多くが工業用水として使われており、生活・農業用水よりも工業用水のほうが多く使われる国はアメリカ、カナダ、ロシア、欧州諸国などである。

1980～2000年における工業用水取水量に大幅な増加が見られないのは工業用水利用の抑制への取り組みによるものである。鉄鋼などはいまや、かつての1/4の水使用量で製造できる。またアメリカでは規制とコスト削減意欲によって1950～1990年の間に工業用水は半減したが、生産量はほぼ4倍に増加した。

しかし、今後25年にわたる急激な増加が予想されるのは、中国をはじめとする新興工業国によるものである。これらの国の節水技術の低い技術による工業生産とその規模によって水需要が大幅に増加すると見られている。

ちなみに水使用量を基準としてみた場合、水利用のなかで金銭的な付加価値がもっとも高いのが工業用水としての利用である。同じ水1tを利用するにしても、工業用水として利用することは農業用水として使った場合の70倍もの金銭的な付加価値がつくとされる。⁷

図5 世界の年あたり工業用水取水量



(出所) ロビン・クラーク「水の世界地図」p.34より作成

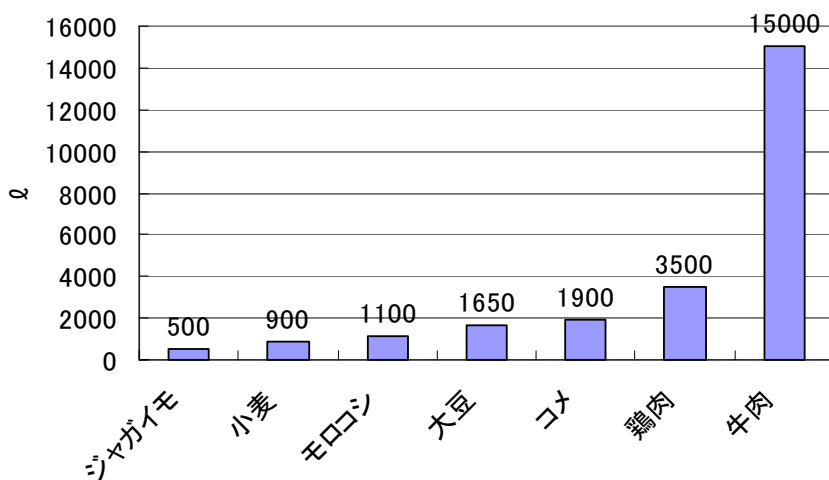
農業用水

食料生産に使われ、水資源利用の大半(ほぼ70%)を費やすのが農業用水である。食糧生産は非常に水コストが高い。アジアでは主食であるコメも1kg生産するのに1900lの水が必要であり、コメは重量において1900倍の量の水によって作られているといえる。さらに食料生産における水コストが高いのは肉で、とくに羊肉と牛肉には特に多くの水が必要となる。それは家畜が飲む水のほかに、家畜が食べる植物を生育させるのにも水が必要だからである。

作物の生育に必要な水は、ひとつは蒸散の流れとして通過する水、もうひとつは結合して作物の一部となる水であるが、ほとんどは通過する水で作物と結合する水はほんの1%程度に過ぎない。つまり作物を生育することでの水の消費はわずかであり、大部分は水の循環のなかに戻るのである。しかし1960~1980年代における先進国の、そして近年の途上国における肥料の使用量の増加により、汚染されて循環にもどる水の量は年々増加しつつある。

また農業には大きく分けて天水農業と灌漑農業がある。天水農業とは、降雨のみにより作物を育てる農業である。作物の収量は雨の降り方と量とに大きく支配されることとなり、不安定な農業生産となる。灌漑農業とは水路から水を引くなど人工的に水の利用を調節する農業である。雨が十分でなければ水を補給し、過剰な水は排水することで天水農業に比べより効率よく、信頼性のある農業生産が行える。また高付加価値作物の生産やより幅広く多様化した作付け体系の導入が可能である。そのため世界の農耕地のうち17%しか灌漑されていないが、そこで世界の食物の3分の1以上が生み出されている。ただし、灌漑農業は天水農業に比べはるかに多くの水資源を利用しなければならないため、人間の水利用のなかで最大の消費量となっているのは灌漑用水としての利用である。⁸

図6 食料1kgの生産に最低限必要な水量



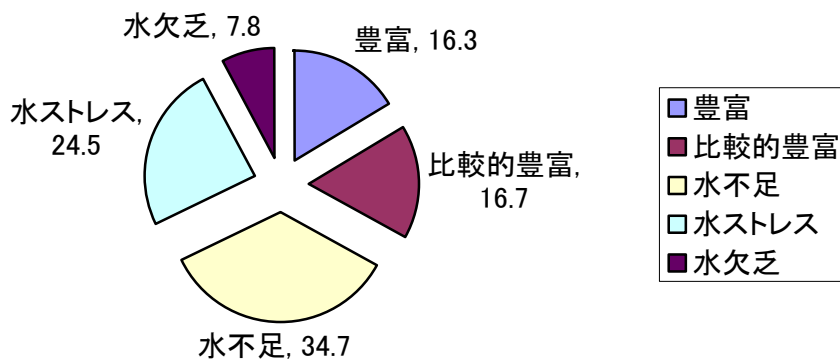
(出所) ロビン・クラーク「水の世界地図」p.29より作成

1-3 水資源の需要と供給

不足する供給

図2でみたように、全世界で毎年4000km³近くの淡水、年一人あたりで約650m³日あたりでおよそ1700リットルもの水資源が取水されている。しかし、すでに述べたように水資源は偏在しているため、その利用量、および利用可能量には地域によって大きな差が生じる。図8の水資源の利用可能量からみる世界人口の分布をみると、慢性的に水資源が不足している国（水欠乏状態、一人あたり利用可能水量1000m³以下）に住んでいる人々は総人口およそ60億人のうちの5億人にあたり、水資源利用が切迫している国（水ストレス状態）に住んでいる人々は24億人以上にあたる。⁹

図8 利用可能水量別の世界人口分布

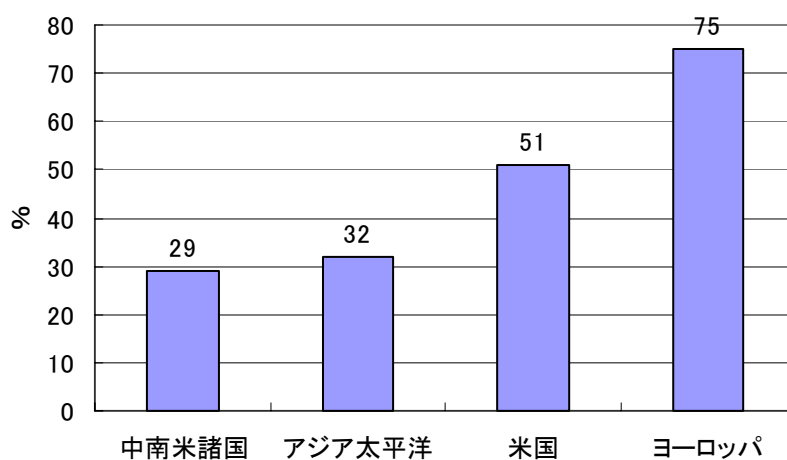


(出所) ロビン・クラーク「水の世界地図」p.18より作成

また近年では地下水の取水量が増加し、過剰利用といえるスピードで利用されている。国によって飲用水や灌漑用水としてなど、利用され方は異なるが、世界各地の帯水層で水位の低下やそれに伴う地盤沈下、沿岸地域の過剰取水による塩水化などが報告されている。

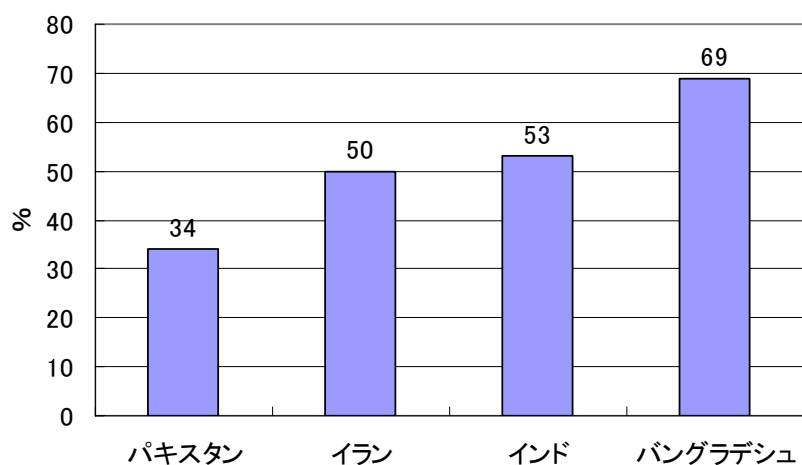
さらに水資源の汚染も問題となっている。食料生産に伴う水汚染の割合は大きく、アメリカでは水汚染の70%は農業によるものである。さらに発展途上国においては、不十分な衛生施設によって、生活排水や工業部門の産業廃棄物（70%が未処理のまま廃棄）による水汚染も加わる。そのため発展途上国の病気の80%が水に関連し、年間170万人が汚水を原因に死亡している。¹⁰

図9 地域ごとの飲用水の地下水依存度



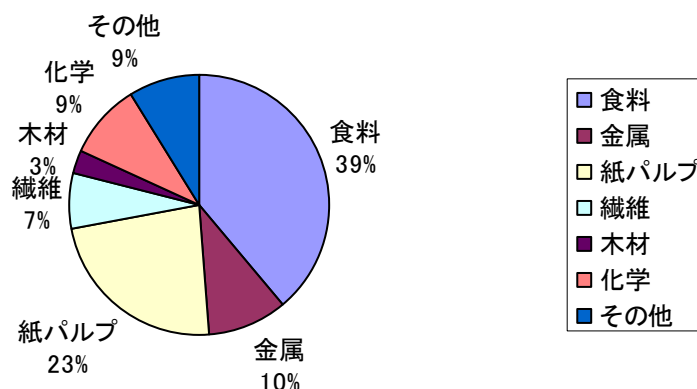
(出所) ロビン・クラーク「水の世界地図」p.22より作成

図10 中東諸国の灌漑の地下水依存度



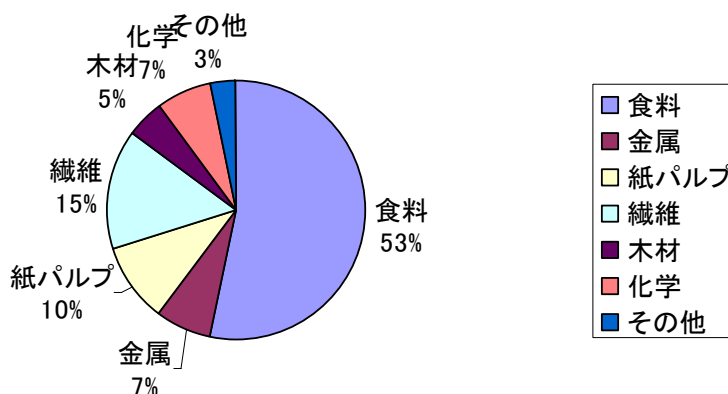
(出所) ロビン・クラーク「水の世界地図」p.23より作成

図 11 産業部門別の有機物による水汚染の寄与の割合 (OECD 加盟国)



(出所) ロビン・クラーク「水の世界地図」 p.37 より作成

図 12 産業部門別の有機物による水汚染の寄与の割合 (低所得国)



(出所) ロビン・クラーク「水の世界地図」 p.37 より作成

増加する需要

すでに十分な供給がされておらず、利用可能量の減少が見られる水資源だが、その需要は今後さらに増大するとみられており、図 2 でみたように今後 20 年間で現在の水準の 1.3 倍の水資源が取水されると予測されている。

具体的な需要増加の要因には、発展途上国の生活水準向上による生活用水利用量の増加、新興工業国による工業用水利用量の増加、人口増加に伴う農業用水利用量の増加などあらゆる利用における需要増加が見込まれている。

このような供給不足と需要増加によって 2050 年には総人口 (予想) 89 億人のうち 40 億人が慢性的に水不足になると推計されている。¹¹

2. 農業用水と灌漑農業

前節でみたように、水資源は農業用水としての利用が多くを占める。それはつまり、食料生産に利用されることを意味し、水資源の不足は食料不足に直結するといえる。すでに世界の3割の地域で水不足、または水ストレス状態にある状況と、今後50年で1.5倍に増加するとみられる世界人口を考慮すると水資源利用、特に食料生産には深刻な危機が迫っているといえる。本節では食料生産における具体的な水資源利用について説明していく。

2-1 農地の限界

食料生産量の向上を図るためにはまず農地面積の拡大が考えられる。しかし1988年に世界人口あたり0.29haであった農地面積は人口増加により2050年には0.165haに減少すると予測されている。これに対し、2000年時点の水準を維持していくには新たに1億8000万haの農地開発が必要である。しかしすでに適地の開発は相当進んでおり、環境保全への配慮から半乾燥地帯、山岳地帯、熱帯雨林などを対象とした新規の農地拡大は極めて難しい状況にある。

一方で既存の農地の劣化も著しい。例えば、砂漠化によって農牧業の生産活動が不可能となる農地は毎年日本の農地面積(約520万ha)を上回る600万haの規模で増加しており、土壌流失や塩類集積^{1,2}により生産性の低下している農地は毎年2100万haにもものぼる。

このように、農地拡大に限界がある現状では農地の生産性向上が求められている。そこで農地の17%で生産量の3分の1を占める灌漑農地の拡大や作物の品種改良などが進められているのである。^{1,3}

2-2 灌漑農業とその問題

ここで改めて灌漑の一連の流れと、どのような施設が必要かについて説明しよう。

「貯める」・・・ダム等により河川の水を貯める。余剰水を貯留するか、直接トンネルや管水路(パイプライン)で取水する。

「取り入れる」・・・堰・頭首工により十分な水位(これをヘッド(head)という)までせき上げられた河川の水を取り入れる。平常時の河川の水位は周辺の農地の高さに比べて低く、そのままでは農地に水をかけることができないため、堰をつくり河川の水をせき上げる。

「揚げる」・・・ポンプにより河川等の水を揚げる。農地が高い所にある場合は取水した水をポンプ等によりさらに揚げる。

「運ぶ」・・・取水した水を水路で農地まで運ぶ。水路には開水路と管水路がある。開水路は、古くは土を掘ったそのままの素堀水路であったが、今ではブロックや薄いコンクリート張りなどのライニング水路を用いている。最近では親水^{1,4}機能や魚・昆虫などの生物生息のため種々の形のブロックなども用いるようになった。

「分ける」・・・水路で運ばれた水を、各農地につながる支線水路に分ける。広い農地の隅々まで水を配るために農地の区画にしたがって水路網を形成し、水路の分岐点に必要

な水量を分水させる「分水工」を設置する。

「かける」・・・農地まで届いた水を各農家はかけていく。圃場内での水のかけ方は作物の種類によりかなり異なる。水田では開水路方式の場合「欠口」と呼ばれる幅約 30cm 程度の切り欠きから流入させ、管水路方式では、末端の圃場に「給水栓」を配置する。畑地や果樹園などでは現在、「スプリンクラー」を主に使っている。最近では作物の根本だけに水を給水する「点滴灌漑」やホースに小さな穴を開けた「ホース灌漑」なども行うようになっている。

「排除する」・・・農地から余分な水を排除する。農地に降った雨等の余分な水は排水路を通して外へ排水する。農地内の土壤水分の調整には「暗渠排水¹⁵」を行う。集められた排水は、最終的には再び河川に戻される。河川の水位は通常低いのが、洪水などで農地より高くなる場所では「樋門」を設置し、また、河川の水位が常に高いところや高い水位が長時間続くところでは「排水ポンプ」を設置する。

と、以上のようなプロセスと施設をもって灌漑は行われる。¹⁶

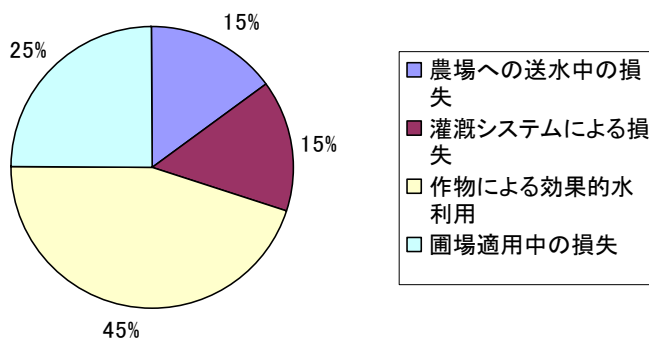
2-3 灌漑農業における問題点

灌漑農業は天水農業に比べ、より効率的で信頼性のある食料生産が行える一方で様々な問題も抱えている。

水の損失

灌漑は多くの水を必要とする農業である。それに加えて多くの灌漑システムで、水は水源から農作物に至るすべての段階で失われる。例えばアジアでは、灌漑用水の 20%は貯水池から灌漑地域に至る段階で、15%が圃場への送水段階で、25%が圃場で浪費されているという報告がある。この場合には、灌漑用水の約 60%がロスとして失われ、作物に利用されるのは残りの 40%にしかならないことになり、全体の灌漑効率は約 40%ということになる。また図 13 では引き出された水のうち実際に作物に届くのは約 45%しかないと示す。しかしこれらのロスの大きさは多岐にわたっており、灌漑農地までの送水システムによるロスは 5~50%と様々である。このような問題は圃場の平均化、用水路の整備等によって改善させることもできる。

図 13 灌漑水の平均的損失



(出所) 世界の灌漑と排水委員会「世界の灌漑と排水 水と緑の地球のために」 p.140 より作成

また近年最も有望な灌漑技術は、低圧で散水する方法またはパイプを埋め込むなどをして、作物の根の部分に点滴灌漑する方法である。これまで水が栽培地および周辺の水路に導かれる地表灌漑とスプリンクラーによって散水するスプリンクラー灌漑が主に行われてきたが、どちらの方法も蒸発によって4分の1の水が失われる(図13中の「圃場適用中の損失」)。点滴灌漑を行うと、灌漑用水を5%しか蒸発損失せずに作物の根に供給することができる。この点滴灌漑及び低圧散水は、すでに20カ国以上で採用されている。

高いコスト

灌漑農業にはコストの問題も生じる。灌漑農業には前述したプロセスに伴い、多くの施設が必要となる。先進国には灌漑農地のおよそ25%が存在するが、新たな灌漑の導入には適地や水供給の欠如、それによる1haあたり1万ドルにものぼる投資コストのため頭打ちになり始めている。点滴灌漑や低圧散水も同様に高価なものであり、発展途上国の小規模なものに適用させるには適切でないことが多い。

土壌劣化

コストの問題から、大規模灌漑になることは多いがそれによっても問題が発生する。それが塩類集積による農地劣化である。塩類土壌には基本的には2種類のグループがある。第一のグループは塩性土壌であり、中性の水に溶ける塩類を含む。地下水が地表に近いところでは、地表の水分が蒸発して白い塩の出た裸地が見られる。改良には水で洗い流すリーチングと地下水位を下げて地下水の蒸発を防ぐための排水が効果的である。もうひとつのグループはナトリウムを含む土壌で、アルカリ土壌ともいわれナトリウムの炭酸塩及び重炭酸土壌を含んでいる。改良にはまず土壌改良剤によりナトリウムイオンをカルシウムイオンに置き換え、リーチングと排水を行う。このように、塩類集積による土壌劣化の防止には排水が重要な手段であるが、排水がうまく行われないうちに灌漑地の30%がこの問題の影響を受けている。適切な水管理がされなければ灌漑地は水浸しになり、塩類集積のため不毛の地となる。また作物の成長の早い乾燥地域でも、水の蒸発が早いために塩類集積が起りやすく、多すぎる灌漑がかえって悪影響になることもあるといえる。

灌漑農業は食物生産を効率的に行えるのだが、特に大規模灌漑地では用水の浪費、高いコスト、管理不備による塩類集積といった問題を抱えているのが現状である。¹⁷

3. 農業生産地域カリフォルニアの農水管理

効率的な水利用と食料生産。主として灌漑農業を行うには、その地域ごとの気候や特色が密接に絡んでくる。そのためそれらを考慮したうえで持続可能な農業を行う水利用システムが必要となってくる。ここでは先進国アメリカの食料生産地域であるカリフォルニアを事例として挙げ、農業先進地における大規模灌漑農業を支える水利構造についてみる。

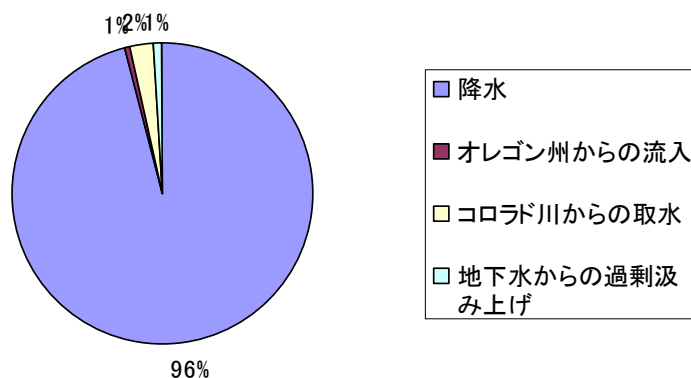
3-1 カリフォルニアの水収支

カリフォルニアの水の年間収支

カリフォルニア州は全米一位の農業生産州であり、それは大規模な灌漑によって支えられているといっても過言ではない。まずカリフォルニアの水の内訳はどのようになっているのだろうか。

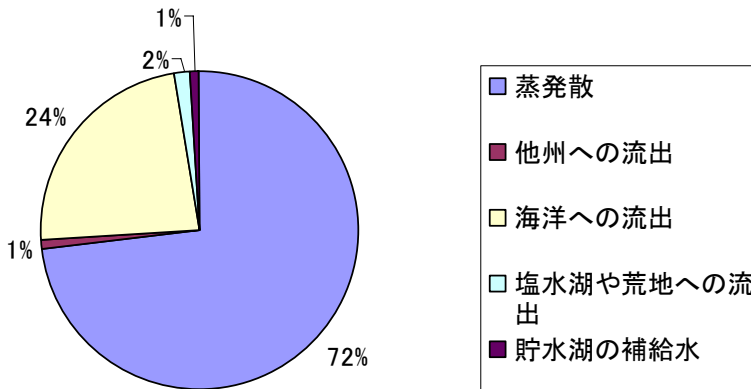
カリフォルニア州水資源局が行った 1980 年における水収支構造の試算によれば、同州における水の年間総流出量は 2 億 100 万エーカーフィート（約 2412 億トン。1 エーカーフィートは水の約 1230 万トンに相当。以下、AF と略記）と見積もられている。このうち流入の内訳は降水 1 億 9300 万 AF（約 2316 億トン）、オレゴン州からの流入 140 万 AF（約 17 億トン）、コロラド川からの取水 480 万 AF（約 59 億トン）、地下水からの過剰汲み上げ分（後述）180 万 AF（約 22 億トン）である。流入の 96% が州内に降った雨（雪）からの供給であることがわかる。

図 14 カリフォルニアにおける水の年間流入量の内訳



一方で流出の内訳は蒸発散 1 億 4710 万 AF（約 1809 億トン）、他州への流出 120 万 AF（約 15 億トン）、海洋への流出 4740 万 AF（約 583 億トン）、塩水湖や荒地への流出 390 万 AF（約 48 億トン）、貯水湖への補給水 140 万 AF（約 17 億トン）である。流出の 72% が大気への蒸発散であり、残りの 24% が海洋へ流出する。蒸発散のなかには、森林や自然植生などから直接消失する 1 億 1890 万 AF（約 1462 億トン）の水も含まれている。蒸発散の割合の大きさは、12 月から 3 月までの冬期（雨季）を除けば、気温が高くしかも乾燥する同州の気候によるものである。

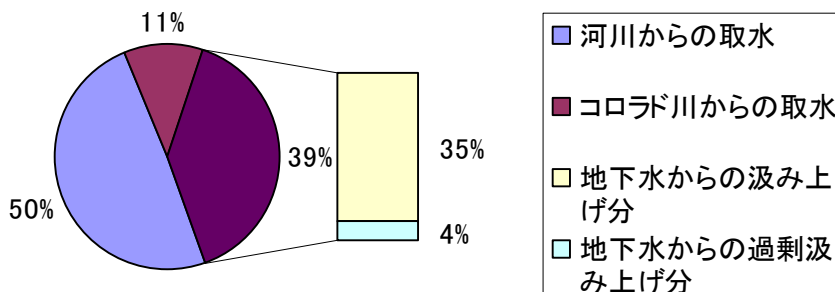
図15 カリフォルニアにおける水の年間流出量の内訳



降水量1億9300万AFのうち、38%にあたる7290万AF(約896億トン)の水が河川に流出し、上記のオレゴン州からの流入分を加えた7430万AF(約913億トン)の水が河川に流出する。このうち39%にあたる2080万AF(約256億トン)の水が揚水機などによって灌漑用水として取水され、残りは河川を流下して大部分が海洋に流出する。ただし、河川流下水のなかには自然生態系保全用の水として利用される水もあるため、河川水の利用率は59%となる。

河川からの取水2080万AFに、上記のコロラド川からの取水480万AF、さらに地下水からの汲み上げ分1640万AF(約202億トン)を合わせた4200万AF(約517億トン)の水が、カリフォルニア州における第一次供給としての水資源量である。地下水からの供給量はこれらの39%にあたり、重要な水資源のひとつであるといえる。このうち、自然浸透、灌漑や水路からの地下浸透、それに人口的な地下浸透を合わせた1460万AF(約180億トン)の水が年々のノーマルな循環に基づく地下水供給量であるとされている。この量と実際の汲み上げ分1640万AFの差が上記の過剰汲み上げ分180万AFであり、それはつまり再生不可能な資源である地下水の減少分ということになる。

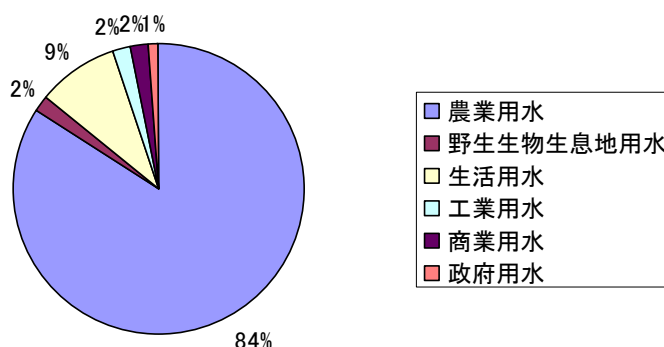
図16 カリフォルニア州における第一次供給としての水資源量の内訳



さらに水資源 4200 万 AF に、農業用水の再利用水および再開発水を加えた 4510 万 AF (約 555 億トン) の水が同州における総開発水量となる。これらの水の開発主体別の割合でみると、地域の水利団体による開発水 23%、州政府のプロジェクトによる開発水 6%、地下水の汲み上げ 36%、コロラド川取水 11%、その他の開発水 4%である。だが、これらの開発水のうち、幹線水路などの送水ロス (蒸発散や地下浸透)、発電用水や人為的な地下浸透、貯水湖への補給水などが除かれた 4070 万 AF (約 501 億トン) の水が、実際に利用可能な純開発水量になる。

一方、これらの純開発水に対する水需要の内訳は、農業用水が 3420 万 AF (約 420 億トン)、商工業用水を含む都市用水が 580 万 AF (約 71 億トン)、それに野生動物生息地用水が 70 万 AF (約 9 億トン) である。農業用水が全需要の 84%を占めており、都市用水は 14%である。なお都市用水需要 580 万 AF の内訳は生活用水が 65%、工業用水が 14%、商業用水が 13%、政府用水が 8%である。商業用水とは飲食店や商店などにおける営業用の水であり、政府用水とは主として軍事施設などにおける水需要である。もっとも水需要の多い生活用水のうち、芝や樹木への散水など外部用水の需要が全生活用水の 47%を占め、残り 53%の水が台所やトイレなどの住宅内需要となっている。

図 17 カリフォルニアの純開発水に対する水需要の内訳



最終需要水はそれぞれの用途に使用されたあと、大部分は蒸発散により大気中に消失するが、一部は地下に浸透し、また残りは流出して海に注ぐ。¹⁸

不安定な降水

カリフォルニア州における年間の水収支構造について、1980 年における具体的な数字によって概観したが、同州の水利には水の供給の時期 (冬期) と水の需要の時期 (夏期) とが半年間ズレているという重要な特徴がある。供給水の 96%を降水に依存しながら 5 月から 10 月までの夏の期間は雨の降らないカリフォルニアでは、夏期の水需要に応えるために冬期の降水をどこかに貯溜しておく必要がある。これらの水は、自然形態としてシエラネバダやカスケードの山地に降った積雪として、あるいは平地の地下水としてストックされ、人工的には多数の貯水湖に一時溜めておいて夏期に利用される。

11 月中旬ごろより山に積もり始める雪は 3 月下旬ごろにはピークに達し、以後、雪解けに伴い減少して、おおよそ 6 月ごろに消失する。この雪の流出が春先から夏期にいたる河川の重要

な水源になるのである。しかしシエラネバダ山地の積雪量は年により大きな変動をみせている。たとえば、1982～83年は平年の2倍以上の積雪があり、しかも4月下旬になってからも大雪が降るといふ多雪年であった。その一方で1976～77年の旱魃年には平年の3分の1程度の積雪しかなく、しかも4月下旬には完全に雪が消失してしまっている。雪のため流出の時期がズレることから、事実上河川取水量の40%を占めるともいわれる融雪も、このように年による変動が大きく不安定であるという点に大きな弱点がある。¹⁹

水源としての地下水

一方、全供給水源の4割近くを占める地下水は、その占める割合の大きさだけでなく、旱魃年における補給水としてもきわめて重要な役割を果たしている。しかし、河川取水などに比べ法的対応や個々の取り締まりが難しいため過剰取水が起りやすく、それによる地下水位の低下や水質悪化などがしばしば問題となっている。1976～77年の2年続きの旱魃のときにも、およそ1万もの新しい井戸が掘られたといわれているが、その後の1987～92年の5年続きの旱魃のときにも、過剰取水による地下水位の低下や塩分集積などの問題が顕在化している。サンウォーキング・バレーや南部都市近郊地域で特にこの傾向が著しく、過剰汲み上げの7割がこの地域で発生しているといわれる。このため地下水資源の枯渇や水質の悪化を防ぐために、自治体の条例や水利団体間の協定によって地下水汲み上げを管理したり、地下水取水料金を徴収している地域もある。また、立法当局は、南山間部の地域で「地下水管理区 (Ground Water Management District)」設立を認めたが、それがカリフォルニア州憲法やその他の法律に適合したものであるかどうかの議論がある。

また「地下水還元プロジェクト」という非灌漑期に人為的に地下水を浸透させる計画も推進されており、そのなかでもっとも大規模な計画が「カーン水銀行 Kern Water Bank」である。長期渇水を契機に地下帯水層に水を貯留し、その水を銀行のように売買するためのプロジェクトであり、1987年から始まり1995年からは帯水層への貯溜が行われている。²⁰

貯水湖の利用効率

カリフォルニア州における貯水湖の数は自然の沼まで含めると5000以上あるといわれている。このうち貯水容量15AF (約1万500トン) 以上の貯水湖は1988年時点で1359である。貯水湖は地域別でみると、北部のサクラメント川流域地帯で最も多く、ついでサンウォーキング川流域地帯、南部沿岸地域が多い。これらの貯水湖は先にみた同州の年間総開発水量4510万AFとほぼ同じ水量の最大貯水容量をもっていることになり、貯水容量からみれば需要水量を十分にまかないうるほどの量だといえる。しかし、前述したように、年々の降水量の大きな変化のために、これらの貯水湖に常に100%水が溜められるというわけではなく、また次年度以降の旱魃に備える必要から、貯水している水のすべてをその年だけで使用できるというわけではない。そのうえ、冬期 (雨季) の大雨に備える必要から貯水湖の水位を秋口にはある程度落としておかねばならず、その年の冬に雨が少なければ、夏まで持ち越す水量もそれだけ少なくならざるをえないという問題を抱えている。たとえば主要な153の貯水湖の実貯水量の平均は最大貯水容量の58%に過ぎない。100年に一度の大干ばつといわれる1977年には最大貯水量のわずか26%、88年には40%しか水を溜めることができなかった。このように、水の供給の時期 (冬期) と需要の時期 (夏期) とがズレているという事情が、同州の貯水湖の利用効率をきわめて低くしている。²¹

3-2 カリフォルニアの水利組織

カリフォルニア州では農業用水あるいは生活用水をとわず、開発された水はすべてさまざまなタイプの用水サービス組織を通じてユーザーの手元に届けられているのが一般的であり、その数は 3700 を超えるといわれる。これらの用水サービス組織は大きく 4 つのタイプに分けられる。

水販売会社

第一のタイプは水販売会社で、個人またはグループに所有された、営利を目的とする私的な水販売の営業団体である。カリフォルニア州における水販売会社は、個人所有のものまで含めるとおよそ 500 存在するといわれ、35 の市町村で 23 万 5000 人の顧客に水を供給しているという。代表的なのがカリフォルニア水サービス会社、パシフィックガスおよび電力会社、南カリフォルニア用水会社などである。しかし、これら私的営業団体はすべて州の公共事業体委員会の指導下におかれており、認可された営業管内ではすべての申し込み者に水をサービスすることが義務付けられている。1959 年に制定された「公共事業体法 (The Public Utilities Code)」によって、「いかなる個人、事業体、会社あるいはそれらからの借受人や受託人であっても、州内で水を販売し、貸出、配給する用水サービスシステムを所有または経営するものは公共事業体である」と規定されているためである。

相互用水組合

第二のタイプは相互用水組合である。これは仲間うちで共同して水を取得し配分することを目的に設立された相互水利用団体であり、営利を目的とする企業体ではないが、税対策上から会社形態をとっているものが多いという。個人またはグループに所有された団体であり、その意味では私的な水利団体であるといえるが、株主や会員以外への水の供給の義務はなく、また公共事業体委員会の管轄下にもおかれていない。非営利団体ではあるが、灌漑区のように管内土地所有者からの土地税徴収権などは与えられていない。結成や解散などが容易であるため、周辺にまとまった水利用希望者や土地所有者のいない地域において、このような団体の設立のメリットがあるといわれている。カリフォルニア州には 1400 もの相互用水組合が活動しているという。

以上の二つのタイプの水利団体は、それぞれ設立の目的が異なるとはいえ、個人やグループによって所有されているという点で、いわば私的水利団体と呼べる。

自治体給水施設

第三のタイプは自治体が行う住民への水供給サービスであり、日本でいう地方自治体の水道局とも呼ぶべき水利団体である。この自治体給水施設 (Municipal Waterworks) は、市内やその隣接地域の住民に水を供給することを目的につくられたもので、ユーザーからの水使用料金による独立採算制がとられているものの、市の条例によって運営されている文字通りの公共水利団体である。ロスアンジェルス市やサンフランシスコ市、サンディエゴ市など、200 以上の市町村でこのような自治体給水施設が設立されている。

公共的用水区

第四のタイプは、各種の公共的用水区(Public Water District)である。この公共的用水区は個人の間で発生した水争いなどを解決し、その地域のすべての土地所有者ないしユーザーに公平に水を供給する必要からつくられてきた公共的水利団体である。1867年の開墾区を皮切りに、以後特定の目的に応じたきわめて多様なタイプの公共的用水区が設立されてきた。これらの公共的用水区は、まずその設立の法的根拠の違いによって、大きく2つのタイプに分けることができる。第一のものは議会で成立した特定法に基づいてその固有の目的に沿って設立される用水区である。カリフォルニアでは80を超える特定法によって、それぞれ固有の目的をもった用水区が設立されている。これらの用水区には、水の開発、配水、譲渡、販売等の広い範囲の権限をもったものが多い。この種の用水区の例としてはアメリカ川洪水制御区、エステロ市改良区などがある。第二のものはいわゆる一般法に基づく用水区というべきもので、あるタイプの用水区を設立する法律に基づき、その法律の規定に沿った手続きによって設立されるものである。通常は申請、公聴会、受益者の投票等の手続きによって設立されるが、それらの用水区の有する権限は、その設立の目的と投票内容によって異なっている。この種の用水区の例としては灌漑区、郡用水区、公共事業区などがある。およそ1000の公共的水利団体がカリフォルニア州に存在する。

水利組織による水分配

以上のような水利団体うち、カリフォルニアでもっとも中心的なのが第四のタイプの公共的水利団体である。1985年時点でカリフォルニア水利団体協会に加盟している290の水利団体はカリフォルニア州全体供給水量約4000万AF(農業および都市用水)のうち65%(約2600万AF)を供給している。これらの水利団体の経歴をみると新規設立は35%で少なく、65%のものがなんらかの水利組織の前身を引き継いで設立されたものである。このうち、前身を用水会社にもつものが27%でもっとも多く、ついで個人農業または井戸、相互用水会社、区などがつづく。個人または投資家の手による私的・営利的な水利組織として当初設立されたものが、その後のさまざまな経過のなかで、管内のすべての土地所有者に公平に水を供給することを原則とする公共的・非営利的な水利団体へ改組されてきたものが多いということである。特に、歴史の古い灌漑区や用水区では私的・営利的な水利組織を前身にもつものが多く、逆に戦後設立された水利団体には新規設立のものが多い。

これら水利団体の事業目的は、農業用水とするものが53%でもっとも多く、ついで都市用水(生活用水、商工用水など)50%、その他、卸売りとなっている。しかし、主として農業用水の供給を目的に設立されている開墾区や灌漑区、カリフォルニア用水区などでも、これとあわせて都市用水の供給や水資源保全などの事業を行っているものもあり、また逆に、都市用水を主たる事業目的にしている公共事業区、郡用水区、郡用水事業局のなかでも、一部に農業用水の供給を行っているものもある。また、用水保全区や洪水制御保全区、用水補給区のように水資源の保全や洪水制御だけを事業目的にした水利団体もあり、首都圏用水区のように水の卸売りのみを事業目的にしたものもある。

水利団体の供給源

次に取水源についてであるが、水源を地下とするものが39%でもっとも多く、ついで河川取水が36%、連邦政府プロジェクト²²による貯水湖からの取水が24%、コロラド川(首都圏用

水区からの購入含む) 18%、ほかの水利団体からの購入 14%、州政府プロジェクト²³による貯水湖からの取水 13%となっている。取水源として貯水湖のみといった1だけの水源に頼る水利団体は比較的少なく、河川取水と地下水取水に加え貯水湖の水を追加購入するといった複数の水源に頼るものが多い。注目すべき点は、貯水湖に依存する水利団体は37%であり、地下水や河川取水に頼る水利団体のほうが多いという点である。特に農業用水を主要な目的とする開墾区、灌漑区、郡用水区などは自ら河川水の水利権を有し、多くをその水利権水量に頼っているものが多い。つまり貯水湖は農業用水の追加的供給源であり、主要な取水源は循環の遅い地下水や自然に依存した河川からの供給という状況であるといえる。²⁴

3-3 農業用水の利用と権利

農水利用の権利関係

灌漑区と管内の土地所有者（あるいは用水使用者）たちとの水をめぐる権利関係は「灌漑区法 (Irrigation District Law)」にもとづいて定められている。それによると水を利用する権利は土地に付属したものであるが、管内の水所有権は灌漑区に帰属し、土地所有者や用水使用者は目的以外に水を使用するいかなる権利も有しないと定められている（ただし管内で土地所有者（用水使用者）のもつ権利水量の移譲や自己圃場間の調整は、申請した水使用の枠内で自由に行われている）。

さて、水の供給量は単年度契約で決められるようになっており、農業者は毎年3月の決められた日までに栽培予定作物と面積、圃場位置を記入して灌漑区に申請しなければならない。灌漑区がこれらを全体的に調整して契約するのである。管内のいかなる水路のゲートも農業者自身で操作することは禁じられており、圃場への給水の必要が生じた場合には少なくとも3日前、また給水停止の必要が生じた場合には1日前に事務所に申し込まなければならない。なお、旱魃による水不足の場合には給水制限や水の輪番制がとられるが、その決定権は灌漑区の理事会にある。また、灌漑サービスは原則として4月1日～11月1日までであるが、使用水量に余裕が生じた場合には、追加灌漑として果樹などの永年作物や冬作物の灌漑に利用されている。

農水の使用料金

次に水の使用料金であるが、作物によって必要となる水量が異なるため、作物により異なる料金が定められている。作物別の水使用料金は、管内における実験圃の用水使用量データなどを参考に理事会で決定される。料金は単位水量あたりの価格ではなく、必要水量の供給を前提とした単位面積あたり料金制になっている。たとえば、稲の場合にはエーカーあたり25ドル、ビート²⁵と加工用トマトの場合には18ドル、牧草やとうもろこし、アルファルファ²⁶、果樹の場合には15ドル、その他一般作物の場合には10ドルと四つのランクに分けられている。また灌漑区によってはどの土地にも一律エーカーあたり5ドルの基本料金を課す区もある。このような単位面積あたりの料金設定は、旱魃などによって取水量が必要供給水量に満たない場合でも、灌漑区運営のためには規定料金を徴収することが必要であるからである。

カリフォルニアにおける水利構造の問題点

以上のような管理体制は作物生産には効果的であるが、水資源利用の点でいくつかの問題点がある。まず水の供給量が単年度契約により決定され、農家には水利権が持たされていないこ

とである。これはもし仮に地下水の枯渇や旱魃などが起こった場合、水の利用価格が高騰し、灌漑区が水供給の権利を購入できない、もしくは不十分な供給しかできないという事態に陥いる。つまり水の供給量は天候や資源量に加え、灌漑区の経済力などによっても左右される。農家への水の安定的な供給は難しいと同時に、農家のそれらに対する発言力が低い構造となっている。また水の使用料金が単位面積あたりの料金制になっていることも問題となる。これは供給水量が不足すると土地代が高くなる反面、土地代さえ払えば水をいくら利用してもよいという仕組みである。そのため先にあげた点滴灌漑の導入など水浪費を抑える設備は、土地所有者(用水使用者)にとっては、直接的には事業費等の負担が増すだけのものになる。また栽培する作物も、同ランクであれば必要とされる水量よりも価格を重視した選択がされるため、節水へのインセンティブは低い構造といえる。²⁷

3-4 カリフォルニアの今後の見通し

カリフォルニア州では水資源の8割が同州北部にあり、一方需要の大きい南部では常に水不足という地理的アンバランスを抱えている。それに加え需要の増大と開発の停滞という長期的な需給バランスの問題、ならびに旱魃のような短期的な需給バランスの問題という2つの問題を抱えている。

しかし農業用水に限ってみれば稲を中心とする減反政策などによって灌漑面積が今後それほど伸びる見込みはなく、また残留農薬の河川への流出を防ぐために灌漑水の供給を抑える必要があることや、過剰な灌漑水に供給を減らすことなどによる灌漑効率の上昇などによって2010年までの純需要はマイナスと見込まれている。

だが、水源の39%を依存する地下水の過剰汲み上げによる供給量の減少、追加的供給水として利用する貯水湖の開発の停滞とコスト上昇は避けがたく、需要の増加はなくても供給量の減少という問題に直面する。5年連続の旱魃の際には余裕のある水利権者から水を買上げ、不足者に売る水バンク制度で切り抜けを図ったが、その際に貯水湖の用水ストックが枯渇するという事態にも見舞われている。

カリフォルニアの大規模企業的営農を支える灌漑とその体制は、歴史は浅くても農業先進地として各国の手本として示されてきた。今日の水資源不足という問題にどのように対応し、いかに持続的な農業を行っていくのが焦点となっている。²⁸

4. 農水管理の比較と展望

前節で大規模な食糧生産の代表例として、カリフォルニアの農水管理をみた。本節ではそれと対照的な農水利用を行うインドネシアについてみる。小規模ではあるが、地域に必要な食料生産を達成し、かつ持続的な水資源利用を可能にする水資源管理はどのような方法でおこなわれ、またどのような特徴をもつのかを明らかにしている。

4-1 インドネシアの事例～持続可能型の水利用システム～

アジアの農業拡大

アジアの途上国で共通する問題は、水と土地の両面で資源制約の時代を迎えていることであ

る。1961年～86年の25年間の間にアジア²⁹の農地面積は3億7900万haから4億300万haへ6%増加しただけである。灌漑面積は8380万haから1億3540万haへ62%増加し、これに伴い灌漑率（全農地面積に対する灌漑農地面積の割合）は20.7%から30.4%に上昇した。しかし、灌漑面積の年平均増加率をみると1961～71年で2.6%、1971～81年で1.9%、1981年～86年で0.8%と低落傾向にある。haあたりの化学肥料投入量は平均11.1トンから83.2トンへ約7.5倍に増加しており、高収量品種の導入もあって穀物（米、麦類、雑穀）の生産量は3億4000万トンから7億2000万トンへ約2.1倍の増加となり、多くの途上国で主穀の自給が可能になった。

しかし、農地の拡大も限界を向かえ、拡大する灌漑農地の85%を担っていたインドの経済的要因による失速によってアジアにおける農業は、いかに有効に水と土地を利用するものかという点が課題となっている。国連食糧農業機関（FAO）はこれを「建設の時代」から「管理の時代」への移行と呼んでいる。

「建設の時代」における失敗

「建設の時代」とは大規模灌漑プロジェクトが行われ、農業生産を高めた時代であったが、そのほとんどが農民負担、農民参加を伴わない政府主導型の事業だった。それまでの不安定な天水農業から、灌漑農業による新たな営農を展開することを政府は期待した。そして、灌漑水を確実に圃場にまで送水するための導水路・幹線水路だけでなく、二次水路まで政府の直轄管理区間とし、三次水路以下では末端水管理の担い手として農民グループの組織化を試みている。しかしこうした試みは失敗におわり、FAOによるとその原因は①建設時における不適切な基幹施設の計画と設計に関する問題（水の送・配水における予期しないロスの発生、必要水量の過小評価、水質問題など）、②末端施設の不備に起因する問題（水路密度の不足、流量計測装置の欠如、排水不良、施設の老朽化など）、③不十分な維持管理から発生する問題（農民のみならず水管理に携わる役人の消極性と水管理についての知識不足、政府機関と農民の間の不適切な協力関係、農民による共同作業の欠如、修理部品の不足など）の3つを挙げている。

このように問題は多岐にわたっており、ハード面では基幹部から末端部にいたる水利施設の欠陥・不足箇所を再整備しなければならず、ソフト面では役人や農民がもっと水管理に習熟するための研修を積むなどの必要が生じた。しかし、長時間にわたって開発援助を受けてきた途上国の多くは膨大な債務負担に苦しみ、水利施設の再整備のために再び先進諸国に対し多額の開発援助を要請することに消極的だった。さらに幹線水路から二次水路を直接管理している途上国の政府は、維持管理費を農民負担にすることすらままならず、管理費の継続的な財政負担に苦しんでいた。

1980年代になってこうした事態に陥り、「開発の時代」に取り組みされた大規模灌漑プロジェクトのツケが回ってきたため、「管理の時代」への移行がなされたといえる。³⁰

インドネシアのバリ島

インドネシアは大小1万3000の島々からなる国で、高い気温と高い湿度、豊富な降水量に特色がある。9月～3月が雨季、4月～8月が乾季で、雨はたいがい非常な強さと雷を伴って降る。国土の7%しかないジャワ島に人口の60%が集中し、土地資源に恵まれた他の島々で農地開発を行い、農民を移住させる政策が進められている。その東隣にあるバリ島での灌漑施設は政府の援助というよりは、サブック（Subak）と呼ばれる農民により組織された協同組合によって建設され、維持管理されている。後にバリ島の農水管理についてみていくが、先にバリ島の農業

について整理しておく。

バリ島は面積 56 万 ha、人口で 278 万人の島で、日本の茨城県がほぼ同等の人口と面積を持つ。土地利用の構成では、水田と樹園地・畑・焼畑で 55%を占め、これにプランテーション農地を加えると全島の 88%が農地として利用されており、林野や一時的休耕地は少ない。インドネシア全体の農地率が 47%なので、バリ島の農地率はきわめて高いことがわかる。

食用作物では米の収穫面積がとび抜けて高い。それ以外の作物ではとうもろこし、大豆、ピーナッツ、キャッサバ³¹、サツマイモ、緑豆などがあるが、米は 2 番目に収穫面積の高いとうもろこしの 3 倍以上の収穫面積になる。バリ島の 1989 年時点での米生産量は約 103 万トンであり、インドネシアの生産量の 2.5%を占める。バリ島の米需要量は約 43 万トンと見積もられ、生産量が消費量を大幅に上回る。備蓄量を考慮してもバリ島では生産量の 3 分の 1 以上が販売されており、農家の貴重な収入源となっている。

一方、バリ島ではGDPの構成のうち農業とその他のサービスの 2 部門がともに 40%弱と極めて高い比率を示すが、近年の傾向として農業部門から観光業と製造業部門への労働力流出がみられている。³²

バリ島の分権的管理

バリ島における灌漑は 150ha という面積から小規模灌漑システムに分類される。その灌漑システムの管理は政府管理としてバリ州政府、農民管理としてスバック（水利組合）とテンペック（スバックの下部組織、サブスバックともいう）による分権的管理が行われている。州政府による管理は水源河川からの堰と導水路を対象にしており、それに続く幹線水路（一次水路）はスバックによって、支線水路（二次水路）、末端水路、圃場水路はテンペックによって管理されている。

農民管理の責任と権限は、スバックとテンペックの両者に分担されている。スバックは、対外的には隣接スバックと州政府との間の水利調整、対内的にはテンペック相互間の水配分と幹線水路の管理に関する責任と権限を有している。テンペックは、テンペック内の水配分、施設管理および組織運営に関する責任と権限をもつ。この他に、スバックとテンペックのそれぞれは独自に水にちなんだバリヒンドゥーの農耕儀礼を司る。

権利関係を見ると、水利権は各テンペックがもち、スバックの水利権はそれらを束ねた水量である。また水利施設の所有権は管理範囲に対応して、州政府、スバック、テンペックのそれぞれに帰属する。敷地所有権は個人の土地所有権に含まれるが、水路のあるところは水路の通水権が土地所有権に優先するという慣習法が成立している。

農民管理において不可欠な権限の一つは重要事項の意思決定を独自に成しうること、すなわち自治の実現にあるが、スバックには水利費の決定、施設の修復等に必要の人員・資材・資金調達方法の決定、水争いの調停と処理等を外部の干渉を排し組合員の総意で決定する権限など、分権的な灌漑システムにおいて重要で基本的な権限を有している。さらにスバックと州政府の関係をみると、スバックが州政府にたいして堰・導水路の管理を信託的に委託するという関係が認められる。すなわちスバックの意思決定に（たとえば灌漑の取水開始、取水量の大きさ、断水等）に従って、州政府は取水・配水操作を実施する。

灌漑管理を農民組織へ移譲し、法制化した国は少なく、フィリピンのように法制化を行った国でも、スバックのように水利権や施設所有権を委譲するまでには至っていない。³³

スバックにおける水利構造の長所

スバックは慣習法的な規範を内にもつ社会的・宗教的な自治組織であり、それゆえにその組織形態や機能は地域性を強く帯びたものである。そのため他の国や地方の水利組織にくらべ特殊性を持っているが、それによる利点などを整理しておく。

一つ目は重層性である。スバックの構成メンバーは複数の水利グループのメンバーであることが多い。たとえばそれは水口分水で隣りあうグループであり、小用水路を共用するグループであり、支線用水路を共有するグループであり、最終的には幹線用水路を共有するグループである。またはほかのスバックのメンバーである。つまりスバックのメンバーは同時にテンペックのメンバーでも多く、いずれも水田用水の共同利用という共通項を持っている。ひとりのメンバーが同じ目的に対し、複数の役割をもつという重層性を土台にスバックは構成されているといえる。

二つ目は二重構造をなす組織である点である。上記したように対外的な役割や代表性はスバックが中心的な役割を演じている。それと同時に取水期間の決定やテンペック間の水配分の権限も持っている。しかし、実際の規範などはスバックに定められたそれに加え、各テンペックが定めた独自の規範に倣うことが多い。また財政においてもテンペックに独立性が見られる。つまりテンペックは必ずしもスバックの下部組織であるだけでなく、独自に対応する権限などがあるために水をめぐる自然的・社会的条件の変化に柔軟に対応してきたといえる。

三つ目に個別的水利用が挙げられる。土地所有権に優先する水路の通水権と水口での引水権がきわめて強固で、さらにそれらは厳しい罰則規定によって侵害から守られている。また一つの水口は一人の耕作者に対応し、耕作者の異なる水田間で田越し灌漑を禁止していることで個別的水利用を支えている。またスバックの水利は後に説明するが、需要主導型³⁴であり、通常は余水放流を不可避とする浪費的な水利用形式だが、スバックでは田越し灌漑とあわせて余水の還元再利用システムが組み込まれているので浪費の抑制がなされている。

最後に水利用の公平性が挙げられる。スバックの組合員および非組合員における水利用の基準、権利・義務のあり方と耕作水田面積に基づく配分は公平性に基いている。さらに短期間の水の貸借というシステムにより、微調整や是正が行われている。

以上の点からスバックの長所が見られる。組織構造や重層性はあくまでも社会的慣習など地域性を強く帯びたものであるが、世界でも少ない農民管理による成功例だといえる。

4-2 農水管理の比較

アメリカ・カリフォルニアとインドネシア・バリ島の農水管理についてみたが、いくつかの点で比較していく。それぞれの地域の気候や特色による影響が強いため、一般化はできないが、先進国と途上国、大規模農業と小規模農業、開発至上と持続発展などを背景にする比較によって農水管理と利用の方向性について考察する。

需要主導型と供給主導型

まず農水利用に関して大きな違いは主に需要主導型か、供給主導型かという点である。供給主導型は、あらかじめ算定した季節ごとの需要水量をダムから堰、幹線水路、支線水路、三次水路へ順次送水される方式で管理者にイニシアチブのある給水方式である。さらに配水量および配水方法の決定において利用者の意見が反映されず、管理者（国家）の意思で決められること統制的な供給主導型といい、大規模灌漑システムの多くではこの方式がとられている。決定

のイニシアチブを農民組織がもち、それが自治的に決められる場合は自治的な供給主導型である。

一方で利用者のイニシアチブで行われる給水方式が需要主導型である。「申請に基づく給水」あるいは「需要に対応した即時給水」といった方式をとるのが需要主導型である。申請の情報伝達、および処理の手間など、特に大規模な灌漑になるほどその管理労力は増すため大規模灌漑システムではあまり採用されていないが、利用者にとっては使い勝手が良い。その反面水資源の浪費がおりやすい。

バリ島スバックの農水管理は先述したように主に需要主導型である。それは灌漑の規模も小規模で伝達の手間があまりかからないことと、渇水時などにおける供給主導型への変更を可能にする組織形態が支えているといえる。また需要主導型に起こりやすい水の浪費も再利用システムの整備によって対応している。

カリフォルニアの農水管理は利用者に使用権のあるため需要主導型にみえるが、大枠で捉えると供給主導型であるともいえ、複合的な農水管理になっているといえる。大規模灌漑用水の供給主導型にある管理労力の問題も多く、水利団体によって解決されている。そのためどちらの利点も発揮しうる状況においては、利用者の十分な水利用と管理者による作物生産へのインセンティブによって高い生産効率が達成できる。その一方で、どちらの欠点も顕在化することがあり、それが利用者の水の浪費と、灌漑区への不公平な分配といった問題として表れている。

開発市場型と持続発展型

カリフォルニアをはじめ大規模灌漑システムは「建設の時代」に多く生み出されたものであり、開発至上主義のもとで構築されたものである。その後先進国など灌漑システムを管理できる国々ではそれらは効率的に利用し、食料生産量を増加に成功した。ただし、水量による料金設定ではなく、単位面積による料金設定であるなど、水資源の不足を考慮していない管理体制である。その上に成り立つ農業生産は水不足による将来的な生産力の低下は不可避であり、早い段階での対策が必要である。

一方、バリ島による灌漑農業は農地などの資源制約下で確立され、水利用も浪費や過剰を抑える持続的な農業形態ではあるが、その生産量自体は大規模灌漑に比べ低い。しかし自給の達成と水資源利用の持続性からいけば参考とされるべきであろう。

だが、多くの途上国では大規模灌漑を行いつつそれを管理しきる体制が整っていないことに問題がある。そのため図13でみたような送水段階でのロスが著しく高くなるのである。中国を初め、そのような整備不良の状態で行う灌漑農業は塩類集積をおこすことにつながり、水資源だけでなく農地の浪費をもたらすことになる。急激な人口増加や食料不足の状況下では食料生産を急がざるをえないが、農地や水の持続性を考慮しなければかえって一時的な食料増産に終わり、将来の生産効率を引き下げる結果につながるだろう。

水利コストの再検討

先の2例に共通して言えることは水資源に対して直接的な価格は設定されていないことである。あくまでも水利用に関するさまざまな施設や事業費に関するコストを利水コストとして支払っているのみであり、純粋に水の使用量に対するコストとはいえない。水に対し価格を設定することは、近年の水企業における水道サービスとその料金をめぐる議論で盛んに行われるようになってきている。ただし水企業の対象としているのは主として生活用水に関するサービスのみ

で、農業用水に関する価格設定には関与しない。

では価格設定によって、持続可能な農業用水利用のための調節がなされるのだろうか。価格による需給調整は期待されるが、安易にそれを実行しようにも重要な問題がある。まず価格設定はどのようにしてされるのかという点である。仮に需要と供給のバランスによって価格を設定したならば、所得の高い農家がより水を利用し、より多くの作物を生産するだろう。しかも料金さえ払えばその利用が過剰であっても利用することができることになり、水価格の高騰や周辺地域の水の独占使用などがおこることが懸念される。また価格設定によって農業用水の利用は持続的になるかもしれないが、その場合食糧生産が必要量を達成できるかは定かではない。すなわち水の需給と食料の需給、それぞれのバランスを考慮しなければならない。

また水の利用用途を明確に区分し配分することの難しさも問題になるだろう。例えば生活用水、特に飲食用の水等では、農業用水よりも高い水質である必要があり水質によって利用者の用途を区分できる。しかし、生活用水でも飲食以外の用途（体を洗う、芝生に撒く、火事を消化するなど）においては飲食用の水質ほどは必要でなくなる。つまり農業用水として安い価格で購入し、生活用水として利用するといったことが起きてもそれを明らかにできないといえる。それは同時に工業用水としての利用との区別にも同じことが言えるだろう。このことは農業用水だけ切り取って考えることができないという、水という資源そのものの性質による問題である。そうすると農業用水としてだけではなく、人の生命維持にも利用される水資源自体に価格を設定することの是非から問題となる。国際河川などに依存した地域もあり、それに関わる複数の国での水利権問題を価格による規範で統制できるかという問題にもなる。

水に価格を設定するという方法はあくまでもひとつの手段である。水資源の過剰な利用を抑制するという点において効果が見込める一方で多くの問題を孕んでいる。しかし水資源不足が迫るなかでは、そのような手段の必要性が増していくのも確かである。そして人に必要不可欠な水という資源に対して価格をつけるかどうかは、そもそも水という資源はどのように扱うべきなのかという議論に通じる。水利コストについての検討は、特にその規制の働くコミュニティ内の水資源に対する共通の認識が必要であり、国家間や地域間で認識の共有に欠けている現状では、水資源利用に対する国際的な取り組みは困難なものとなっている。

4-3 これからの農業と水利用

今日の農業ではその生産量の増加が求められている。世界的な食料不足と需要の増加に対し、その生産量の増加は必須である。しかし、農地の拡大に飛躍的な増加は見込めないことは3節ですでに述べた。そこで生産効率の向上が求められ、つまり灌漑農業の拡大が必要とされる。大規模灌漑を行い、より大量に食料を増産しようという考え方である。

一部の乾燥地域や先進国などですでに大規模灌漑を行い、排水の管理も適切に行われている地域はある。だが、図10でみるように中東の乾燥地域では、灌漑用水を地下水に依存している国が多く、アメリカでも世界最大級の帯水層であるオガララ帯水層をはじめ農業地域のほとんどが地下水を利用している。繰り返すが地下水は貯水に何百年という期間が必要であり、その供給量を越えた部分は再生不可能な資源として考えられる。つまり地下水に強く依存した農業には限界があり、持続不可能な農業だといえる。

このように持続可能性まで考慮された水利用構造がとられていない事例は多く、20世紀において水資源の持続的利用を考慮しない灌漑農業の結果として代表的なのがアラル海の事例であ

る。カザフスタンとウズベキスタンにまたがるアラル海はかつて世界4位の面積の塩湖であったが、1957年以来面積で62%、水量で84%縮小し塩分濃度が6倍になった。その原因はアラル海に流れ込むアムダリア川、シルダリア川で旧ソ連が灌漑を実施し、取水したことにあり、20世紀最大の環境破壊とまでいわれる事例である。

また先進国では水価格は利用可能量、補助金、商取引次第で変動し、一般に消費者価格は使用量に直接影響を及ぼし、従量制の価格体系によって浪費は思いとどまらせる。消費者にとって馴染み深いのは生活用水とその利用料金(水道料金)であろう。ところが、最も水を使う農業用水に対しては多額の補助金が払われており、それが浪費や不適正な穀物生産をもたらすことが多い。たとえばスペインでは、給水コストの1%しか支払わない農家が存在し、トウモロコシ、ムラサキウマゴヤシ、ジャガイモといった大量の水が必要な植物を、ヨーロッパでもっとも乾燥した地域で栽培することもある。またアメリカ西部では、政府の農家向け水補助金は年間20億ドルに達する。

一方で、持続可能な食料生産のために、水資源利用の効率向上に向けた動きも見られている。多くの水不足国では都市用水として利用された都市下水道を再利用している。インドのコルカタ(カルカッタ)では、未処理下水をそのまま自然の潟湖に流入させ、潟湖がそれを吸収、浄化し、年間6000トンの漁獲高を生み出している。またイスラエルでは、より高度な処理施設を使って下水を処理し、2万haの農地灌漑に利用している。21世紀における農業(食料生産)は「一滴の水からより多くの穀物を」と掲げられるように、より水の浪費を抑え最効率的に利用されるようその仕組みを構築されることが求められる。³⁵

おわりに

21世紀における水資源利用は需要の増大に対し、供給が減少することが予想される。それはつまり、人類に必要な水資源の過剰な利用が引き起こす慢性的な不足という事態である。主な水資源利用方法として人の生活に使われる生活用水、工業生産に使われる工業用水、食料生産に使われる農業用水の3つがあるが、その大部分を農業用水が占めている。そのことは水資源の不足がもたらす問題が深刻な食料不足であるということの意味する。そのため21世紀の水資源不足の状況下ではいかに効率的に水資源を利用し、大量の食料生産を行うかが焦点となる。

世界における効率的な農業、灌漑農業の行われる農地は2割にも満たない。しかしその2割に満たない農地から食料の3分の1が生産されていることから、灌漑農業の普及による食料生産の大幅な増産が見込まれる。また灌漑設備の改善などによる水利用の効率性もまだまだ向上の余地がある。一方で、単純に灌漑を広めることや設備を整えることが可能なわけではない。その理由にコストの問題があり、小規模な農地においてはそのコストが負担できない。また十分な管理がなされると農地を不毛の地にする恐れがある。

灌漑農業にはその地域の気候や特色といった地域性が密接に関係してくる。カリフォルニアのように広大な土地と比較的安定した気候、そして大量の地下水資源を有する土地では大規模灌漑が効率的であり、大規模灌漑の持続を可能にする管理体制がある。しかしそこでは水資源の過剰利用が起り、またそれを抑制する制度は十分に整っていないという問題がある。インドネシアのバリ島では、地域住民が農水管理の自治権を持ち、調和のとれた水資源利用を可能にしている。しかしあくまで社会慣習や地域性を強く帯びたものであるため、成功例ではある

が規範にはなりにくい。

農業用水のより効率的な利用には適切な管理が必要になる。給水の決定権を管理者が持つか、利用者が持つか、またどれだけの決定権をもつかという点はその地域性によって左右されるため安易にどちらが良いとは決められない。ただ、水資源不足の状況下では開発市場型の農業ではなく持続発展型の農業をとるべきといえるので、給水権も含めそれに適合した管理制度がとられる必要はあるだろう。

また水資源の過剰利用を抑制するため、水のコストを検討するべきだろう。その際農業用水だけを切り離すことはできないため、水資源そのものに対して共通の認識を持つ必要があり、それが明確にされることで過剰な利用を抑制する制度もとることが可能になるだろう。それはつまり水という資源は改めて何なのかを定義し、根本的な扱い方から検討すべき時期を迎えていることを意味している。

過去において水を有限の資源として捉え扱わなかったために、結果として持続不可能な水資源利用を行った事例は多く、またそれは現在においても見られることが多い。一方で、持続的な利用を考慮した試みも見られるようになってきている。いずれにしても水資源利用と食料生産を最も効率的に行える仕組みが今後必要とされる。

注

-
- ¹ 【1】 , pp.16~17.
² 【11】 , pp.24~27.
³ 【1】 , p.18.
⁴ 【1】 , pp.18~19.
⁵ 【1】 , pp.26~27・11.pp.62~64.
⁶ 【1】 , p.44.
⁷ 【1】 , pp.34~35.
⁸ 【1】 , pp.28~33.
⁹ 【1】 , p.20.
¹⁰ 【1】 , p.49.
¹¹ 【1】 , pp.18~19.
¹² 塩類集積・・・土壌に塩類が蓄積し、農地として利用できなくなること。
¹³ 【14】 , p.136.
¹⁴ 親水・・・水との親和性があること。水に親しむこと。
¹⁵ 暗渠排水・・・暗渠（あんきょ。地下に埋設したり、ふたをかけたたりした水路）を設けて、土中の余分な水を排水する方法。
¹⁶ 【14】 , p.117.
¹⁷ 【1】 , p.83・【14】 , pp.137~141.
¹⁸ 【10】 , 八木宏典, 「開発至上主義から調和ある再配分へ」, 今村ほか, 1996 , pp.54~60.
¹⁹ 【10】 , 八木, 前掲, pp.61~62.
²⁰ 【10】 , 八木, 前掲, pp.62~63.
²¹ 【10】 , 八木, 前掲, pp.63~64.
²² ルーズベルト大統領により 1937~51 年に行われたプロジェクトの総称。94 の貯水湖とカリフォルニア南部への導水路の過半が建設された。通称CVP。
²³ 1950 年代後半から行われた、州独自のプロジェクトの総称。1959 年の水資源開発債権法による資金的援助があったが、CVPと違い、基本的には受益者負担の開発だった。通称SWP
²⁴ 【10】 , 八木, 前掲, pp.79~84.

²⁵ ビート [beet]・アカザ科の2年生植物で、根が白く、甘みのある品種のもの。砂糖をとるために栽培される。テンサイ (甜菜)、サトウダイコンのこと。

²⁶ アルファルファ [alfalfa]・マメ科の多年草。ムラサキウマゴヤシ。もやしをサラダにして食べる。

²⁷ 【10】、八木、前掲、pp.96~105.

²⁸ 【10】、八木、前掲、pp.105~116.

²⁹ ここでいうアジアはバングラデシュ、ブータン、ミャンマー、カンボジア、朝鮮、インド、インドネシア、イラン、日本、ラオス、マレーシア、モンゴル、ネパール、パキスタン、フィリピン、韓国、スリランカ、タイ、ベトナムの19カ国を指す。中国は含めていない。

³⁰ 【10】、水谷正一、「資源制約下の水利用システム」、今村ほか、1996、pp.121~125.

³¹ キャッサバ [cassava]・トウダイグサ科の低木。根からタピオカがとれる。カッサバとも。

³² 【10】、水谷、前掲、pp.130~138・14.pp.42~43.

³³ 【3】、pp.233~256・【10】、水谷、前掲、pp.139~174.

³⁴ 需要主導型の水利用とは水使用者のイニシアチブによって行われる給水方式で、余水放流方式ないしは予備貯留方式のいずれかの方式が使用される。これに対して給水管理者のイニシアチブによって行われる給水方式を供給主導型の水利用という。供給主導の代表例として異常渇水時の番水や時間給水などがある。

³⁴ 【1】、p.31、82

参考文献

- 【1】ロビン・クラーク、『水の世界地図』、沖大幹・沖明訳、丸善株式会社、2006
- 【2】村上雅博、『水の世紀』、日本経済評論社、2003
- 【3】後藤ほか、『モンスーン・アジアの水と社会環境』、藤田和子編、世界思想社、2002
- 【4】高橋祐編著、『地球の水危機 日本はどうする』、山海堂、2003
- 【5】レスター・ブラウン、『フード・セキュリティ だれが世界を養うのか』、福岡克也監訳、ワールドウォッチジャパン、2005
- 【6】レスター・ブラウン、『食料破局 回避のための緊急シナリオ』、今村奈良臣訳・解説、ダイヤモンド社、1996
- 【7】ヴァンダナ・シヴァ、『ウォーター・ウォーズ 水の私有化、汚染そして利益をめぐる』、神尾賢二訳、緑風出版、2003
- 【8】国際ジャーナリスト協会 (ICIJ)、『世界の〈水〉が支配される！ グローバル水企業の恐るべき実態』、佐久間智子訳、作品社、2004
- 【9】浜田和幸、『ウォーター・マネー 石油から水へ世界覇権戦争』、光文社、2003
- 【10】今村奈良臣・八木宏典・水谷正一・坪井伸広、「水資源の枯渇と配分 開発から管理へ」、農林漁村文化協会、1996
- 【11】鈴木宏明、『水のはてな Q&A55 知らないことがいっぱい！ 水のふしぎ、水のちから』、桐書房、2004
- 【12】渡辺斉、『水の警鐘 世界の河川・湖沼問題を歩く』、水曜社、2004
- 【13】モード・バーロウ、『BULE GOLD 独占される水資源』、市民フォーラム 2001 訳、現代企画室、2000
- 【14】世界の灌漑と排水委員会、『世界の灌漑と排水 水と緑の地球のために』、家の光協会、1995
- 【15】沖大幹、『世界の水危機、日本の水問題』、東京大学生産技術研究所、2003年、
<http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/Info/Press200207/#VW>